

**ACTAS DEL
1^{er} CONGRESO
LATINO AMERICANO
DE ECOLOGIA**

CIPFE



EFFECTO INVERNADERO: LA CONTRIBUCION DE LA DEFORESTACION EN LA AMAZONIA BRASILEÑA

Philip M. Fearnside

Departamento de Ecología
Instituto Nacional de Pesquisas
da Amazonia - INPA
C.P. 478
69011 Manaus - Amazonas
BRASIL

Resumen

Examen de estimaciones, muchas veces conflictivas sobre el ritmo y magnitud de deforestación de la Amazonia brasileña, lleva a una "mejor estimación" del área acumulada del bosque derrumbado hasta 1988 de 345×10^2 km² (inclusive de deforestaciones antiguas), o 8.2% de los 4×10^2 km² que originalmente eran forestadas en la región administrativa denominada "Amazonia Legal" (5×10^2 km²). Deforestaciones recientes (post 1960) de bosques primarios y secundarios antiguos totalizaron 268×10^2 km², o 6.4%. Incluir la alteración del cerrado (sabana seca del centro-oeste del Brasil) aumenta el total de deforestaciones recientes hasta 460×10^2 km², o 9.6% del área original de bosque o cerrado.

La pérdida del bosque en 1988 estaba prosiguiendo en 20×10^2 km²/año; inclusión de las pérdidas del cerrado eleva el total a 39×10^2 km²/año, un área casi del tamaño de Holanda.

pp. 49-90 In: E. Gudynas & R. Xalambri (eds.) Actas del 1^{er} Congreso Latino Americano de Ecología, 10-17 de Diciembre de 1989, Montevideo, Uruguay. Centro de Investigación y Promoción Franciscano y Ecológico (CIPFE), Montevideo, Uruguay. 325 pp. (1992).

La biomasa media (peso seco, encima y abajo del suelo) está estimada en 211 toneladas/há para áreas de bosque siendo derrumbadas en 1988, y 247 toneladas/há para los bosques de la región como un todo (el contenido de carbono en la biomasa es 50%). La biomasa media de las pasturas es 10.7 toneladas/há. La liberación de carbono (C) del suelo por la conversión del bosque en pastos es 3.92 toneladas/há de los 20 centímetros superficiales del suelo. Si todo el bosque y cerrado fuese convertido en pasturas, 51 billones de toneladas (gigatoneladas = GT) de C serían liberadas. La tasa anual de pérdida de bosque y cerrado en 1988 estaba liberando 270×10^2 toneladas de C cuando convertido en pastos. Llevando en consideración las cantidades de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) liberadas, y el impacto relativamente mayor del carbono en la forma de metano sobre el efecto invernadero, la liberación del carbono de estas dos formas en la tasa de deforestación de 1988 totaliza de 262 a 282 millones de toneladas, dependiendo de las presunciones sobre la producción de metano por las quemadas y por los comejenes (termitas). Esto es casi tres veces la liberación anual de carbono oriundo del uso de combustibles fósiles en el Brasil, sin embargo trae poco beneficio al país.

I.) Introducción

El efecto invernadero es la suma de las acciones absorbentes de calor de varios gases que son emitidos por las actividades humanas y por los procesos naturales de diferentes partes del mundo. Aunque las emisiones de dióxido de carbono por los países industrializados representa el mayor factor, otras fuentes de gases provocadores del efecto invernadero, tales como la deforestación tropical, también hacen contribuciones significativas. Políticas proyectadas para controlar el calentamiento global precisan ser basadas en un entendimiento adecuado de la naturaleza y magnitud de las fuentes de gases, los costos y la eficacia de posibles cambios en la política, y los beneficios que están siendo derivados de las actividades que hoy están liberando los gases del efecto invernadero. La Amazonía brasileña, con la mayor área remanente de bosque tropical, es de importancia central no solamente porque la deforestación en esta región contribuye a la atmósfera con una cantidad sustancial de carbono, sino también

porque controlar la deforestación está ampliamente justificado desde la perspectiva de los propios intereses del Brasil, independiente de la cuestión de calentamiento global. Frenar la pérdida del bosque es posible porque el proceso de deforestación en el Brasil está siendo empujado, en gran parte, por factores que son sujetos a las decisiones del gobierno. Discusiones separadas han sido publicadas sobre las causas de deforestación en el Brasil (Fearnside, 1987a), sus beneficios menguados (Fearnside, 1985a, 1986a), pesados costos ambientales (Fearnside, 1985b, 1988), y su irracionalidad cuando vista desde la perspectiva de intereses a largo plazo del país (Fearnside, 1989a,b). Medidas que ayudarían a frenar la pérdida de bosque en la Amazonia brasileña han sido revisadas desde la perspectiva de lo que el gobierno brasileño podría hacer (Fearnside, 1989c) y de las posibles contribuciones de otros países (Fearnside, 1990a). El impacto potencial de la deforestación sobre otros países hace que esto sea un foco de preocupación mundial (Fearnside, 1989d).

La contribución actual y potencial de la deforestación en la Amazonia brasileña son inciertas debido a la pequeña cantidad y a la baja confiabilidad de datos sobre varios componentes claves en el cálculo. La gran extensión de la Amazonia brasileña, y su heterogeneidad, combinado con la escasez de datos, hacen que esas incertidumbres sean un punto flaco en los cálculos de balance global de carbono.

La actual contribución de la deforestación es una función de la tasa anual en que los bosques están siendo cortados, la biomasa de los bosques, la división de biomasa en compartimientos encima y debajo del suelo, el contenido de carbono de la vegetación, la fracción del carbono encima del suelo que es transferida para depósitos de larga duración (tales como el carbón vegetal), la fracción quemada de la biomasa, las prácticas de re-quemada de las áreas (inclusive las transformaciones para y de las reservas de carbono vegetal), la tasa de descomposición de la biomasa no quemada, las reservas de carbono en la vegetación que sustituye el bosque, y las reservas de carbono del suelo en la vegetación original y en la vegetación que sustituye ésto. Las razones entre los gases liberados por la deforestación afecta la contribución al efecto invernadero. El cálculo de la liberación potencial también

exige el conocimiento del área total para cada tipo de vegetación presente. Todas estas cantidades son inciertas. La indecisión en el resultado como un todo depende tanto de la incertidumbre de cada factor como de la sensibilidad del resultado a mudanzas en aquel factor. Las indecisiones tienen efectos multiplicados, degradando rápidamente así la confiabilidad de las liberaciones calculadas (Robinson, 1989). A pesar de estas limitaciones, es esencial que la mejor estimación posible sea hecha de los datos disponibles. Donde están faltando mediciones para cantidades necesarias, tales como la biomasa de ciertos tipos de vegetación, entonces conjeturas o presunciones basados en vegetación semejante de otros lugares precisan ser usados. El uso de tales valores de baja confiabilidad es preferible a extrapolar para la región a partir de algunas pocas medidas de biomasa de alta confiabilidad: es mejor ser aproximadamente correcto que estar exactamente errado. A pesar de las diferencias de opinión y los datos conflictivos sobre tales factores vitales como la biomasa del bosque y la tasa de deforestación, la conclusión permanece inevitable de que la tala de bosques en la Amazonia tiene una contribución significativa al efecto invernadero. Más fundamental que las discordancias sobre la magnitud de la deforestación y de la biomasa es la falta de consenso sobre cómo los resultados deben ser interpretados en términos de mudanzas de políticas.

II.) Tasas de deforestación

Controversia cerca las estimaciones existentes de extensión y ritmo de deforestación en la Amazonia brasileña. Estas controversias son analizadas en otra parte y una "mejor estimación" está derivada, calcula que, hasta 1988, 8.2% del área originalmente forestada desde la Amazonia Legal brasileña había sido talada (inclusive de deforestaciones antiguas), con deforestaciones recientes en área de bosque (virgen + secundaria antigua) aumentando en $20 \times 10^2 \text{ km}^2 / \text{año}$ (Fearnside, 1990b).

Gran parte de la literatura sobre la contribución de la deforestación tropical para el calentamiento global ha sido basada en estimaciones de deforestación de la Organización de Alimentación y Agricultura (FAO), de la Organización de las Naciones Unidas, para 1980

(Lanly, 1982). Este levantamiento está desactualizado y es poco probable que represente la verdadera extensión de la deforestación mismo para el periodo cubierto por él. Las informaciones relatadas fueron colectadas a través de un cuestionario que fue enviado al gobierno de cada país, a inverso de obtener datos de cualquier método independiente de monitoreo, tal como el sensoramiento remoto. En el caso del Brasil la tarea de responder fue dada a la Superintendencia de Desarrollo de la Amazonia (SUDAM), el órgano responsable por subsidiar y promover grandes haciendas de pecuaria en la región. Muchas de las informaciones disponibles en la época (revistas en Fearnside, 1982) no son reflejadas en la relación.

La estimativa de la deforestación adoptada aquí (Fearnside, 1990b) aprovecha lo máximo posible de medidas de imágenes de LANDSAT-TM de 1988 hecho por el Instituto de Investigaciones Espaciales (INPE) (Brasil, INPE, 1989a,b). En el estado de Acre una discrepancia con resultados anteriores del Instituto Brasileño de Desarrollo Forestal (IBDF, hoy parte del Instituto de Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, IBAMA), llevó a usar una proyección a partir de datos de 1980 y 1987 en este estado. En el estado de Rondonia el valor absoluto de deforestación fue derivado de los resultados de LANDSAT del INPE, pero un salto inexplicado en relación a los datos de LANDSAT del año anterior de IBDF (1989) llevó a usar una estimación de la tasa de deforestación en este estado derivada de resultados de AVHRR (Malingreau & Tucker, 1988; J.P. Malingreau, comunicación personal, 1988; D. Skole, seminario del INPA, 1989; ver Fearnside, 1990b). En todos los estados datos del INPE (Brasil, INPE, 1989a,b) fueron usados para estimar la deforestación en área originalmente forestada, pero la alteración del cerrado fue estimada haciendo varias presunciones sobre la proporción de alteración en los diferentes tipos de vegetación, o continuación de tendencias anteriores.

Por el cálculo de "mejor estimación" esbozado en la Tabla 1, el área talada en la Amazonia Legal totalizó $353 \times 10^2 \text{ km}^2$, del cual $268 \times 10^2 \text{ km}^2$ (76%) es bosque (Tabla 1). De la cobertura vegetal original (Figura 1), 7.4% del total y 6.4% del bosque había sido talado hasta 1988. Estos valores no incluyen "deforestaciones

Tabla 1: VEGETACION ORIGINAL Y MEJOR ESTIMACION DE LAS AREAS RECIENTEMENTE DEFORESTADAS EN LA AMAZONIA LEGAL BRASILEÑA DE 1960 HASTA 1988.

Estado	Vegetación Original (km ²) ^(a)			Total de la Vegetación Original	Área
	Bosque	Cerrado	Sabana Húmeda		
Acre	152,589	0	0	152,589	8,634
Amapá	99,525	0	42,834	142,359	842
Amazonas	1,562,488	0	5,465	1,567,953	12,837
Maranhão	139,215	121,01	0	260,232	34,140
Mato Grosso	572,669	235,345	72,987*	881,001	67,216
Pará	1,180,004	22,276	44,553	1,246,833	91,200
Rondonia	215,259	27,785	0	243,044	30,634
Roraima	173,282	0	51,735	225,017	2,187
Tocantins/ Goiás	100,629	169,282	0	269,911	20,279
Amazonia Legal	4,195,660	575,705	217,574	4,988,939	267,969

(a) Vegetación original de acuerdo con el mapa del INPE (Figura 1), con las áreas de sabana divididas entre la sabana húmeda y cerrado en sus proporciones aproximadas en las áreas de sabana indicadas para cada estado. El bosque en Tocantins/Goiás ha sido aumentado por 68,573 km², presu­midos de haber sido incluidos en el levantamiento del INPE, pero no en el mapa de la vegetación original. "Bosque" incluye tanto el bosque primario ("virgen") como "capoeiros antiguos" (de deforestaciones pre-1960 en el Pará y Maranhão). Total son las áreas de las unidades políticas, inclusive superficie de agua, conforme utilizando en las relaciones del INPE y IBDF (tornando los porcentajes sub-estimativos). El área de Tocantins/Goiás es aquella usada por Brasil, INPE, 1989a, b; esto no combina con el área de 235,793 km² usada en las relaciones anteriores del INPE (e.g. Tardín et al., 1980) para la misma área geográfica.

(b) Alteración del cerrado que no fue medido en el estudio del INPE (Brasil, INPE, 1989b), ha sido estimado presumiendo que este tipo de vegetación es derrumbado en la misma proporción que el bosque dentro de cada estado, con las ejecuciones de Rondonia (donde la proporcionalidad es presumida excluyendo las áreas de

Recientemente deforestado (km ²)		Porcentaje recientemente deforestado		Fuente
<u>Cerrado(b)</u>	Total	del bosque	de bosque + cerrado	
0	8,634	5.7	5.7	(d)
0	842	0.8	0.8	(e)
0	12,837	0.8	0.8	(e)
20,664	54,803	24.5	21.1	(e)
134,227	201,493	11.7	24.9	(e)
1,722	92,922	7.7	7.7	(e)
989(f)	31,623	14.2	13.0	(e)
0	2,187	1.3	1.3	(e)
34,114	54,393	20.2	20.2	(e)
191,765	459,734	6.4	9.6	

cerrado en reservas indígenas) y Mato Grosso (donde existen datos de corte de **cerrado** en la parte occidental del estado en 1983, y la razón entre corte del **cerrado** y del bosque observada es presumida de ser constante en el estado como un todo hasta 1988).

- (c) El área del pantanal (sabana húmeda del Mato Grosso) es de datos del IBGE reproducidos en Benchimol (1989: 56). El restante del área de sabana en Mato Grosso mostrada en la Figura 1 (con corrección para áreas estadual) es considerado como siendo **cerrado**.
- (d) Proyección lineal a partir de los últimos dos años de datos disponibles de satélites (ver Fearnside, 1990c):
- (e) Brasil, INPE, 1989b, con correcciones para área estadual y corte de **cerrado** (ver texto).
- (f) Corte de **cerrado** en Rondonia presume que 6,946 km² de **cerrado** (25% de los 27,785 km² de **cerrado** en el Estado según el mapa del INPE) quedan expuestos a deforestación. El restante está en una reserva indígena.

AMAZONÍA LEGAL BRASILEÑA

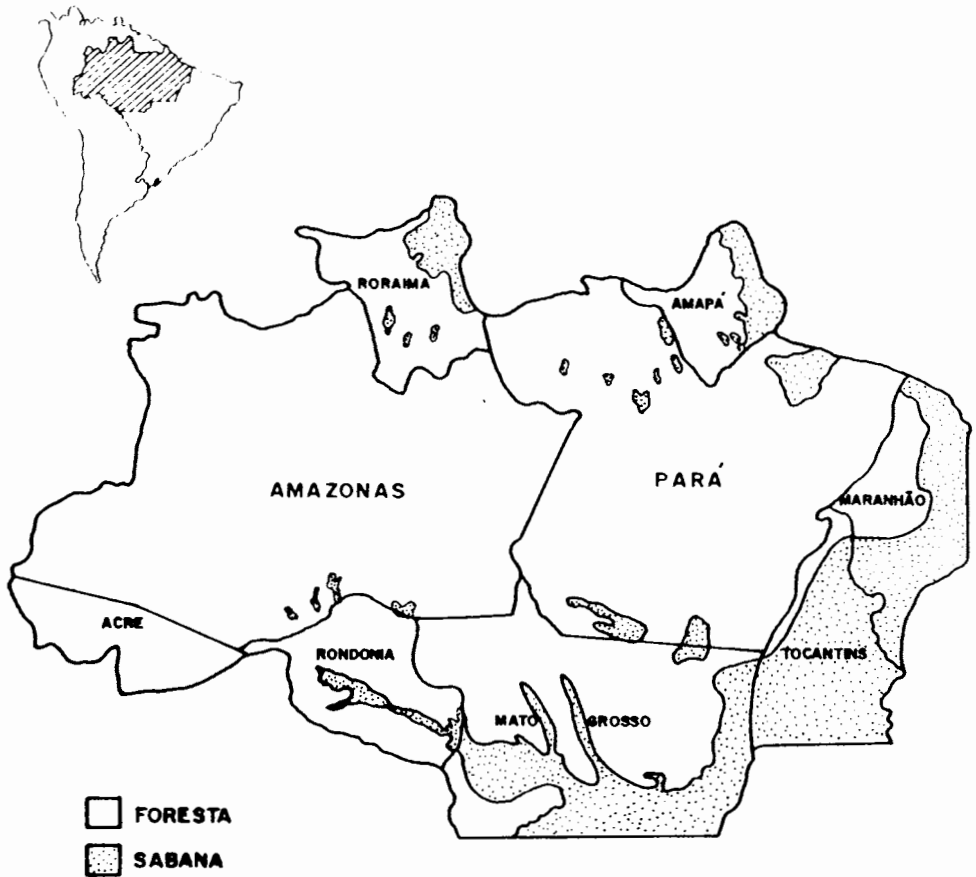


Figura 1 — Bosque y sabana en la Amazonia Legal Brasileña (rediseñado de Brasil, INPE, 1989a).

antiguas" (talas de bosques hechas antes de 1960, que el estudio del INPE/Programa Nuestra Naturaleza registraba como siendo 31,822 km² en el Pará y 60,724 km² en Maranhão. Estos bosques secundarios antiguos no fueron distinguidos en los estudios anteriores de LANDSAT-MS (ver Fearnside, 1982; 1986b), y por tanto, no pueden ser usados en el actual estudio con la finalidad de establecer tendencias a través de comparaciones con los datos anteriores. Los valores del estudio del INPE para bosque secundario antiguo han sido incluidos en los cálculos de biomasa y de liberación de carbono, por la consideración del bosque secundario antiguo como un tipo separado de vegetación. El área que ha perdido su cobertura florestal original, inclusive el área de los "capoeiros" (vegetación secundaria) antiguos, es del tamaño de Finlandia: 345 x 10² km², o 8.2% del área florestal original.

La tasa media de deforestación puede ser estimada, de manera conservadora, presumiendo tasas constantes desde la última medida de satélite para área talada (Tabla 2). Este procedimiento subestima la tasa actual de deforestación, porque el cálculo hace una medida de la derrumbada a lo largo del período entre las dos últimas medidas de satélite, en cuanto todas las evidencias indican que las áreas taladas realmente han sido, en general, aumentadas a cada año. Una excepción probable a esta tendencia es 1989, principalmente debido a las lluvias más pesadas durante la época seca, en comparación con los años anteriores. El aumento casi constante de la tasa de deforestación deja obsoletos la mayoría de los cálculos sobre el efecto invernadero, que han sido basados en estimaciones de deforestación referente a 1980 o antes.

III.) Liberación de gases del efecto invernadero

A.) Estimativas disponibles

Calcular la contribución en potencial de la deforestación al efecto invernadero exige la comparación de las reservas de carbono presentes antes y después de la deforestación. Las estimaciones de las emisiones en potencial está evolucionando en la medida en

Tabla 2: TASAS MEDIAS DE DEFORESTACION EN LA AMAZONIA LEGAL BRASILEÑA

ESTADO	Penúltimo dato		
	Año	Fuente	Total talado (km ²)
Acre	1987	IBDF, 1989b	8,133
Amapá	1978	Tardin <i>et al.</i> , 1980	171
Amazonas	1978	Tardin <i>et al.</i> , 1980	1,791
Maranhão	1980	IBDF, 1983a	10,671
Mato Grosso	1980	IBDF, 1982b	52,786
Pará	1986	IBDF, 1988	85,203 (a)
Rondonia	1987	IBDF, 1989a	22,913
Roraima	1981	IDBF, 1983b	1,170
Tocantins/ Goiás	1980	IBDF, 1983a	9,120

- (a) Deforestación en el Pará y Maranhão incluye el recorte en el área de capoeiros antiguas (pre-1960). Zonas de bosques secundarios antiguos totalizan 31,822 km² en el Pará y 60,724 km² en el Maranhão; de éstas, áreas estimadas en 2,225 km² y 2,459 km² fueron cortadas hasta 1986 y 1988 en el Maranhão. Estimaciones en estos estados para años anteriores a 1986 eran incapaces de distinguir los bosques secundarios antiguos del bosque virgen, y el corte en la región de bosque secundario antiguo es, por tanto, incluida sin corrección. Para 1986 y 1988 en el Pará y para 1988 en el Maranhão el corte en el área de bosque secundario antiguo es presumido de haber ocurrido en la misma proporción que en bosque virgen.

Total deforestado hasta 1988 (km ²)	Tasa media de deforestación en 1988 (km ² /año)		
	Bosque	<u>Cerrado</u>	Total
8,634	501	0	501
842	67	0	67
12,837	1,105	0	1,105
54,803	3,437(a)	2,080	5,517
201,483	5,580	13,008	18,588
92,922	3,788	72	3,860
31,623	3,916(b)	6	4,042
2,187	145	0	145
54,383	1,759	2,959	4,718
459,734	20,298	18,245	38,543

- (b) La tasa de deforestación en Rondonia presumida a seguir la tendencia de 1985-1987 mostrado por AVHRR. Valores no corregidos para deforestación: 27,658 km² hasta 1985 (Malingreau & Tucker, 1988); 36,900 km² hasta 1987 (Jean-Paul Malingreau, comunicación personal, 1988); valores corregidos para los efectos de cerrado y 18% ajuste para efecto del tamaño del pixel: 24,195 km² hasta 1985 y 32,280 km² hasta 1987.

Tabla 3: BIOMASA APROXIMADA Y AREA DE BOSQUE POR ESTADO

Estado	Tipo de Bosque	Area aproximada (Km ² x 10 ³)	Biomasa aproximada (toneladas/há)	Fuente para área	Fuente para biomasa
Acre	Bambú	30	20	W.G. Sombroek, com. pers., 1989 (25% del restante) (75% del restante)	Suposición
	Otros de baja biomasa	31	209		
	Denso	92	418		
Amapá	Mangle	1	200	Braga, 1979	Suposición
	Denso	99	354	Residuo	Jordan & Russell, 1983 para Jari
Amazonas	Várzea	30	216	Suposición	Volumen comercial 100 m ³ /há (W.G. Sombroek, com. pers., 1989). Suposición. Presumido 50% del bosque denso
	Jurua/Purus	400	149		
	Amazonas occidental	200	119		
	Bambú	30	20		
	Otros de baja biomasa	226	232		
	Denso	677	464	W.G. Sombroek, com. pers., 1989 25% del bosque sobre suelos "frágiles" W.G. Sombroek, com. pers., 1989)	Media de cuatro locales en el área de Manáos: Hacienda Dimona (327.7 toneladas/há) Fearnside <i>et al.</i> , s/d-a; Hacienda Porto Alegre Fearnside <i>et al.</i> , s/d-a Reserva Ducke y alrededores (367.5 toneladas/há ver Fearnside, 1987b, Klinge & Rodrigues, 1974; Reserva Egler (507.5 toneladas/há) Klinge <i>et al.</i> , 1975.
Maranhão	Capoeirão antiguo	61	100	Brasil, INPE, 1989a,b	Suposición
	Otros	78	175	Residuo	Suposición basada en el volumen de troncos de 144.7 m ³ /há para boques en la región de Grande Carajás Brasil SEPLAN, CODEBAR, SUDAM, 1986.

Mato Grosso	Norte	100	143	Suposición	Basado en 120 m ³ /há de volumen comercial encontrado por Jaime Antonio Ubially y Edezio Cardoso Carvalho (W.G. Sombroek, com. pers., 1989)
	Transición	473	83	Suposición	
Pará	Capoeirão antiguo	32	100	Brasil, INPE, 1989a,b	Suposición Volumen forestal de los levantamientos de la FAO (media de 16 locales: ver revisión de Fearnside, 1986c, 1987b)
	Central	465	226	Suposición	
	Oeste	249	356	Suposición	
Rondonia	Norte	158	354	Suposición	Area de reservatorio de Tucuruí: Cardenas <i>et al.</i> , 1982). Projeto Jari: Jordan & Russell, 1983 Presumido 25% del bosque denso
	Cipoal/baja biomasa	227	175	Suposición	
	Denso (Samuel)	215	418	Brasil, INPE, 1989a,b	
Roraima	Montaña	26	266	Braga, 1979	300 toneladas/há biomasa encima del suelo para el reservatorio de Samuel (Martinelli <i>et al.</i> , s/d)
	Otros	147	119	Bosques remanecentes	
Tocantins/ Goiás	Transición	101	83	Presumido que todo el bosque relatado en Brasil, INPE, 1989a,b	Mismo presumido que el bosque de transición en Mato Grosso
Amazonia Legal	Todos los bosques	4.196	247	(media ponderada por el área presente)	
			211	(media ponderada por la tasa de deforestación)	
<u>Cerrado</u>		576	70.70		

Tabla 4: LIBERACION APROXIMADA DE DEFORESTACION EN LA AMAZONIA LEGAL BRASILEÑA

	Liberación como si toda el área fuese convertida en pasturas (GT)	Liberación con tasa actual de deforestación (GT/año)
Bosque (biomasa)	47.3	0.196
<u>Cerrado</u> (biomasa)	1.9	0.059
Suelo (20 cm superiores)	1.9	0.015
Total	51.0	0.270

que las informaciones mejores se tornan disponibles. Una estimación (Fearnside, 1985c), basada en una clasificación de siete categorías para la vegetación hecho por Braga (1979), y biomasa para bosque denso basada en la medida de resultados de los estudios existentes con medidas directas, concluyó que la conversión de la Amazonia Legal en pasturas liberaría 62 billones de toneladas (gigatoneladas = GT) de carbono. La biomasa por hectárea usada para la categoría "bosque denso de tierra firme" era 361.5 toneladas de peso seco de biomasa total, incluyendo biomasa viva encima del suelo (251.7 toneladas/há), abajo del suelo (86.3 toneladas/há) y litter (hojarasca, ramas pequeñas y otro tipo de biomasa caída en el suelo), 23.6 toneladas/há. Este valor para biomasa a partir de medidas directas es más alto por un factor de dos del que el valor de 155.1 toneladas/há para biomasa total derivado por Brown & Lugo (1984) usando levantamientos de volumen maderero hecho por la FAO para "bosques latifoliares tropicales americanos productivos no perturbados": un valor que ha sido usado en cálculos recientes del balanceo global de carbono (e.g. Detwiler & Hall, 1988).

La estimación de 155.1 toneladas/há hecha por Brown & Lugo (1984) es más baja de que valores para biomasa derivados utilizando la misma metodología para 15 de los 16 locales para los cuales informaciones sobre volúmenes están abastecidas en las relaciones de la FAO, haciendo con que sea poco probable que un valor medio tan bajo aplica a los bosques densos de la Amazonia brasileña (Fearnside, 1986c). Haciendo una alteración de la estimativa principalmente por la inclusión en la medida para bosque denso las informaciones de la FAO sobre volúmenes madereros, y por la utilización de valores para biomasa de pastos basados en monitoreo a lo largo de un ciclo anual en Altamira (Pará) y Ouro Preto do Oeste (Rondonia) (Fearnside, 1989e), resulta en una estimación de 49.7 GT para la liberación en potencial provocada por la conversión en pasturas (Fearnside, 1987b). Los cálculos de biomasa en el actual trabajo dan un valor intermedio de 51 GT (Tablas 3 y 4).

Las 16 localizaciones en el conjunto de datos de la FAO presentan como media de biomasa total (encima + abajo del suelo) 226.1 toneladas/há si fuese calculada usando el factor derivado por Brown & Lugo (1984) para la conversión del volumen encima del suelo en biomasa, y la relación entre biomasa encima y abajo del suelo medida por Klinge *et al.* (1975; ver Fearnside, 1987b). Brown *et al.* (1989) recientemente derivaron factores más confiables para la conversión de volumen en biomasa, elevando la estimación de este grupo para la media de biomasa encima del suelo para bosques latifoliados cerrados americanos tropicales no perturbados en 28-47%. La media de la biomasa encima del suelo de 169.68 toneladas/há de biomasa total, usando el factor de 1.31 de Klinge *et al.* (1975) para la conversión. Esto concuerda bien con el valor de 226 toneladas/há usado aquí para el Pará central (Tabla 3), donde los levantamientos de la FAO eran concentrados. Ambos valores probablemente son subestimaciones: el valor usado en la Tabla 3 (de Fearnside, 1987b) por haber usado la conversión más baja (y menos confiable) basado en Brown & Lugo (1984) y la estimación más reciente (Brown *et al.*, 1989) por usar un método de ponderación por tipo florestal que resulta en una media ponderada para volumen más bajo que el valor encontrado en 15 de los 16 locales que forman la base del levantamiento.

B.) Transformaciones del uso de la tierra

Las pasturas que sustituyen el bosque duran aproximadamente una década apenas, antes de parar de ser productivas. La vegetación que sucede al pasto tiene una biomasa mayor, así reduciendo un tanto la liberación líquida de carbono. No obstante, la degradación del suelo bajo pastura, junto con las mudanzas en el régimen pluviométrico esperadas caso que la escala de la deforestación fuese aumentar bastante, son probables a tornar tipos de vegetación disclimax, de biomasa baja, inclusive formaciones de gramíneas, la cobertura terrestre dominante en una Amazonía talada (Fearnside, 1990b).

La tasa de deforestación, junto con la biomasa del bosque siendo derrumbado, afecta la contribución actual (distinto de la contribución en potencial) de la deforestación al efecto invernadero. La tasa de deforestación fue calculada para cada estado (Tabla 2), no obstante ésta precisa ser yuxtapuesta entre los diferentes tipos de bosque dentro de cada estado. Esto fue hecho presumiéndose que, dentro de cada estado, cada tipo de bosque es talado en la proporción en que ocurre.

Tanto áreas presentes de diferentes tipos de bosque cuanto la biomasa de cada tipo son cantidades inciertas. En la Tabla 3, los valores relatados han sido derivados a partir de varias fuentes, y tiene grados variados de incertidumbre. Los valores para áreas presentados en la Tabla 3 han sido redondeados después de ser hechos los cálculos de liberación del carbono.

El factor que influye más en la biomasa total presente es el bosque denso del estado de Amazonas. Esto presenta tanto la mayor área cuanto la mayor biomasa por hectáreas de todos los tipos de bosque. Ocurre que también es la unidad donde fue hecho el mayor número de medidas directas de biomasa. Esta área representa aproximadamente 37% de la liberación total en potencial de carbono oriundo de la conversión de la Amazonía Legal en pasturas.

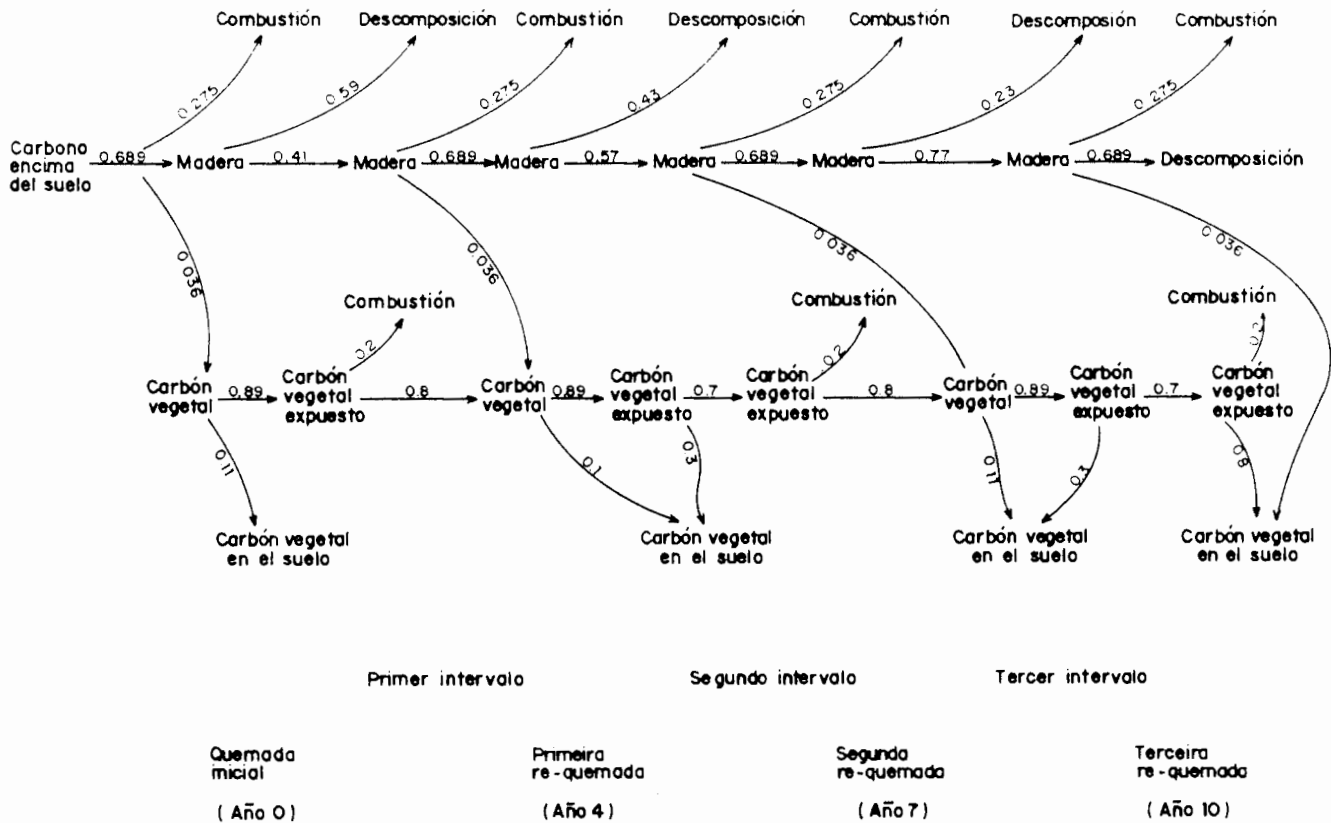


Figura 2.— Transformaciones de carbono en una secuencia típica de quemada. Ver tabla 5 para parámetros.

C.) El destino de las reservas de carbono

1.) Carbono de biomasa

El carbón vegetal formado en la quemada es un camino para la transferencia de carbono para reservas de larga duración que no puede entrar en la atmósfera. En un bosque quemado para ser convertido en pasto cerca de Manãos, fue transformado en carbón 3.6% del carbono antes presente encima del suelo (Fearnside *et al.*, s/d-a). Este valor es sustancialmente más bajo que los 20% presumido por Seiler y Crutzen (1980) cuando estos autores identificaron el carbón vegetal como siendo un sumidero importante para carbono. Si fuesen utilizadas estas tasas (más bajas) de formación de carbón vegetal, en los modelos del ciclo global del carbono, el resultado sería la constatación de un papel más importante para la deforestación tropical en el efecto invernadero, contrario al caso con tasas más altas de transferencia para reservas de larga duración (*e.g.* Goudriaan & Ketner, 1984).

El comportamiento de quemada puede alterar la cantidad de carbono que pasa para reservas de larga duración, tales como el carbón vegetal. Los cálculos del balanceo de carbono generalmente presumen que el bosque está quemado apenas una vez, y que toda la biomasa no quemada se descompone, subsecuentemente (*e.g.* Bogdonoff *et al.*, 1985). Esto no es un padrón típico en las pasturas para pecuaria que predominan en la Amazonía brasileña. Los hacendados queman los pastos en intervalos de 2-3 años para combatir la invasión de vegetación invasora leñosa. Troncos echados en el suelo cuando son efectuadas estas re-quemadas muchas veces son quemados. Un poco de carbón vegetal formado en las quemadas anteriores puede esperarse que sea quemado también. Un escenario típico de tres re-quemadas a lo largo de un período de diez años elevaría el porcentaje de carbono encima del suelo convertido en carbón vegetal de 3.6% para 4.6%, dado las presunciones esbozadas en la Figura 2 y en la tabla 5.

El carbono remanente sería liberado a través de la combustión y la descomposición; la importancia relativa de cada uno afecta los gases liberados. En un escenario de apenas una quemada, del carbono presente encima del suelo antes de la quemada 27.5% sería liberada a través de la combustión y 68.9% a través de la descomposición. Tanto la combustión como la descomposición liberan metano, que es 3.7 veces más potente por tonelada de carbono que el dióxido de carbono en provocar el efecto invernadero cuando se considera el potencial para calentamiento global a lo largo de la vida esperada de cada gas, sin aplicación de una tasa de descuento (Lashof & Ahuja, 1990).

Si fuese aplicada una tasa de descuento mayor que cero, la importancia del CH_2 relativa al CO_2 aumentaría (y por lo tanto, la importancia de la deforestación tropical relativa a las emisiones de la quema de combustibles fósiles). En tasas de descuento de 1%, 2%, 3%, 4% y 5% respectivamente, el impacto del CH_2 es aproximadamente 12, 17, 22, 25 y 28 veces mayor por molécula de CO_2 (Lashof & Ahuja, 1990). Un método alternativo de dar más peso a los efectos de corto plazo es considerar el potencial para calentamiento global sin descuento hasta un horizonte de planificación, después de que ningún efecto esté considerado (Arrhenius & Waltz, 1990). Cortos horizontes de planificación aumentan el impacto relativo del metano: considerando solamente los próximos 30 años, al en vez de los 150 años de vida media de una molécula de CO_2 en la atmósfera, aumenta el impacto relativo del CH_2 de aproximadamente 4 a 40 veces, en relación al impacto del CO_2 .

Medidas de las razones de emisión de CH_2 a CO_2 (expresada como porcentaje de volumen) con una media geométrica de 1.1% variando de 0.5-2.3% para muestras colectadas de la superficie cerca al bosque quemado en la Amazonia brasileña (Greenberg *et al.*, 1984) y variando de 0.3-2.0%, con una media geométrica de 0.8% cuando muestreado de avión (Crutzen *et al.*, 1985: 242). La cantidad de metano liberada depende fuertemente sobre la razón entre la combustión en brasas y la combustión en llamas: la combustión en brasas libera sustancialmente más CH_2 . Muestra a partir de aviones sobrevolando quemadas (en la mayoría de derrumbada de bosque virgen) indica que una fracción sustancial

Tabla 5: LISTA DE LOS PARAMETROS PARA LAS TRANSFORMACIONES

Parámetro	Valor	Unidades	Fuente	Comentario
Biomasa total	210.67	toneladas/há peso seco	Tabla 2	Media ponderada para áreas taladas en 1988.
Contenido de biomasa	0.50	fracción del peso seco	Brown & Lugo, 1984	
Fracción encima del suelo	0.76		Klinge <u>et al.</u> , 1975	Cerca de Manãos, Amazonas.
Eficiencia de combustión en la quemada inicial	0.28	fracción del C liberado	Fearnside <u>et al.</u> , s/d-a	Cerca de Manãos, Amazonas.
Fracción del carbono en carbón de la quemada inicial	0.04		Fearnside <u>et al.</u> , s/d-a	Cerca de Manãos, Amazonas. <u>et al.</u> , Altamira,
Fracción del carbón en la biomasa después de la quemada	0.89		Datos preliminares de Fearnside <u>et al.</u> , s/d-b	Cerca de Altamira, Pará.
Fracción de transferencia del del carbono en carbón expuesto duante el primer intervalo	0.30		Suposición	Primer intervalo = 4 años. 4 años.
Fracción sobreviviendo la descomposición en el primer intervalo	0.41		Calculado de Uhl & Sal-darriaga, s/d (a)	
Eficiencia de combustión en la primera quemada	0.275	Fracción del C liberado	Presumida igual a la quemada inicial	
Fracción convertida en carbón en la primera quemada	0.036		Presumido igual a la quemada inicial	
Fracción de combustión de carbón en la primera quemada	0.20		Suposición	
Fracción sobreviviendo la descomposición en el segundo intervalo	0.57		Calculada de Uhl & Sal-darriaga, s/d(b)	Segundo intervalo = 3 años.
Eficiencia de combustión en la segunda quemada	0.28	fracción del C liberado	Presumida igual a la quemada inicial	
Fracción del C convertida para carbón en la segunda quemada	0.04		Presumido igual a la quemada inicial	
Fracción del carbón en la biomasa después de la primera quemada	0.89		Presumido igual a la quemada inicial	

Fración de transferencia del carbono del carbón expuesto para el suelo durante el tercer intervalo	0.30		Suposición
Fración sobreviviendo la descomposición en el tercer intervalo	0.77		Calculada de Uhl & Sal- Tercer intervalo = 3 años darriaga, s/d(b)
Eficiencia de combustión en la tercera quemada	0.28	fracción del C liberado	Presumido igual a la quemada inicial
Fración del C convertida para carbón en la tercera quemada	0.04		Presumido igual a la quemada inicial
Fración de combustión del carbono en carbón en la tercera quemada	0.20		Suposición
Liberación de carbono de los 20 cm superiores del suelo	3.92	toneladas/há	Fearnside, 1985c, 1987b
Biomasa de la vegetación que substituye al bosque	10.67	toneladas/há	Fearnside, <u>et al.</u> , s/d-c; Pasto: la biomasa media a lo largo del año en Ouro Preto del Oeste, Rondonia.

- (a) Uhl y Saldarriaga (s/d) relatan una media de 97.3 toneladas/há de peso seco de biomasa media encima del suelo permaneciendo 3-4 años después el deforestamiento de un bosque venezolano cuya biomasa encima del suelo era aproximadamente 290 toneladas/há, basado en estimaciones en el área hecha por Stark y Spratt (1977). Presumiendo que la eficiencia de combustión (0.275) y la fracción de formación de carbón vegetal (0.036) medidas en el Brasil (Fearnside et al. s/d-a), la biomasa encima del suelo pos-quemada que fue expuesta a la descomposición a lo largo del intervalo de 3.5 años (usando el punto medio de la variación de las edades de los locales) sería por tanto 59%.
- (b) Uhl y Saldarriaga (s/d) relatan la biomasa media como siendo 56 toneladas/há para locales de edad de 6-7 años; 45,3 toneladas/há para locales con 8-10 años, 22.7 toneladas/há para locales con 12-20 años y 7 toneladas/há para locales con 30-40 años. Presumiendo una declinación en la masa de madera dentro de cada intervalo de edad (y utilizando los puntos medios de las variaciones de las edades como los límites de los intervalos), la pérdida anual como porcentaje de la masa de madera en el inicio de cada intervalo sería 14.7% para 0-3.5 años, 14.2% para 3.5-6.5 años, 7.6% para 6.5-9 años, 7.2% para 9-16 años y 3.6% para 16-35 años. Estas tasas de pérdidas han sido usadas para calcular los valores para pérdidas en los intervalos utilizados en el presente cálculo (0-4 años, 4-7 años y 7-10 años).

de la combustión ocurre en forma de brasas (Andreae *et al.*, 1988). Troncos de árboles consumidos por la quemada de pastos son prácticamente todos quemados a través de combustión en brasas a inverso de llamas (observación personal).

Los comejenes son unos de los principales agentes de descomposición para madera no quemada (Uhl & Saldarriaga, s/d). No existen medidas del porcentaje de biomasa ingerida por los comejenes. El principal especialista sobre comejenes en la región solamente puede afirmar que la "mayor parte" de la madera encima del suelo es ingerida (Adelmar Bandeira, comunicación personal, 1990). Por lo tanto, un valor de 75% (el punto medio de la variación de 50-100%) fue usado como una primera aproximación. Existe una controversia animada acerca de la cuestión de cuánto metano es producido por los comejenes (Collins & Wood, 1984; Fraser *et al.*, 1986; Rasmussen & Khalil, 1983; Zimmerman *et al.*, 1982, 1984). Apoyo para la hipótesis de emisiones sustanciales en potencial de comejenes en las áreas taladas en la Amazonia viene de las altas densidades poblacionales en rozas en el Pará donde la biomasa del bosque permanece (Bandeira & Torres, 1985), y emisiones altas de metano de comejeneras cerca a Manãos (Goreau & de Mello, 1987). Los billones de toneladas de madera de estos insectos devorarían en la medida en que la Amazonia queda talada no puede dejar de ayudar en la liberación de cantidades sustanciales de metano, independiente de la tasa de producción que se muestra correcta al final de cuentas.

La liberación de diferentes gases provocadores del efecto invernadero puede ser calculado basado en las informaciones disponibles de medidas en el laboratorio y en el campo. Escenarios de liberación alta y baja de metano están presentes en las Tablas 6-8, usando una variación de valores disponibles para liberación a partir de la combustión y de los comejenes.

En el escenario de baja liberación de metano, 1,550 g de CO² por kg de combustible quemado están producidos de quemadas mixtas de combustión en llamas y en brasas (*i.e.*, quemadas iniciales) y 1,400 g de CO² por kg de combustible en quemadas en brasas (*i.e.*, en re-quemadas) (ambos valores calculados por Kaufman *et al.*, 1990; de Ward, 1986). Combustión mixta produce

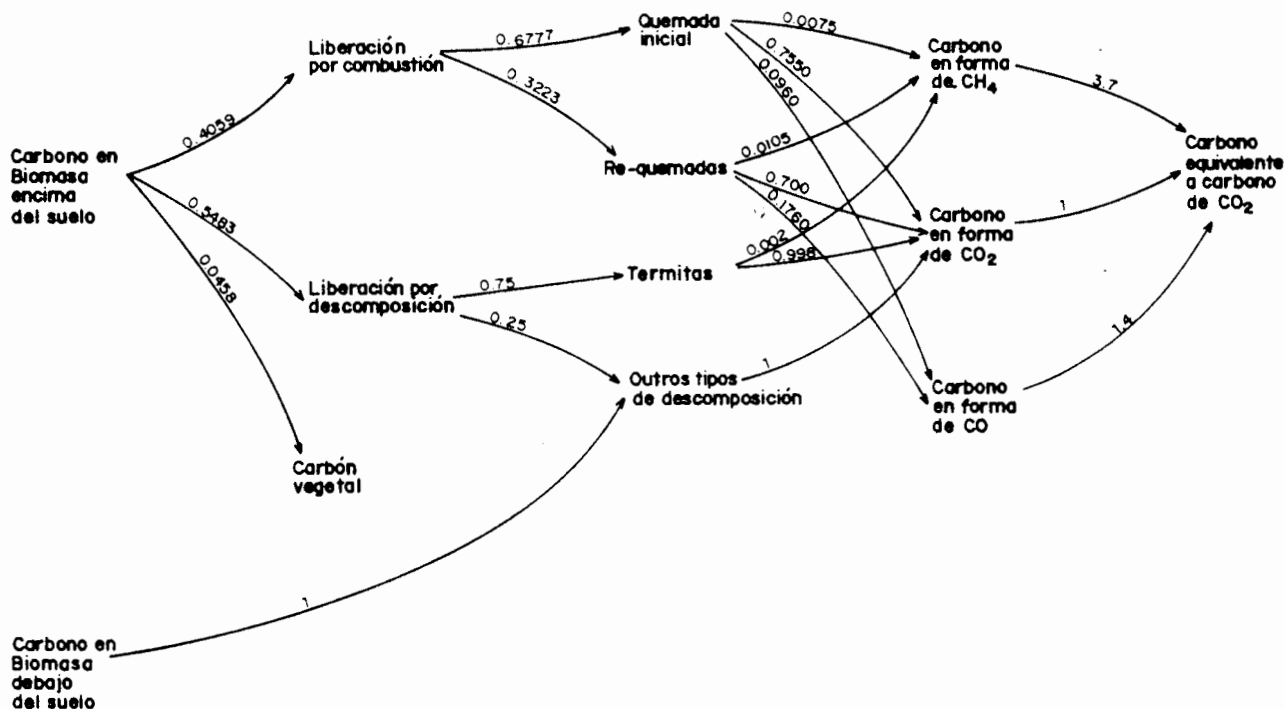


Figura 3 — El destino del carbono de biomasa y su contribución al efecto invernadero (escenario de baja liberación de metano). La primera ramificación en el diagrama resume los resultados de la Figura 2.

Tabla 6: LIBERACIONES DE CARBONO EN LA AMAZONIA LEGAL BRASILEÑA (a)

ESCENARIO DE BAJO METANO											Deforestación completa de la Amazonia Legal (GT)						Liberación líquida anual en 1988 (GT/año)						Liberación bruta por hectárea (toneladas de carbono/há talada) para deforestación completa de la Amazonia Legal			Liberación bruta por hectárea (toneladas/há talada) para deforestaciones en 1988		
	Carbono de dióxido de carbono	Carbono de metano	Carbono de monóxido de carbono	Carbono total	Carbono equivalente al de CO ²	Carbono de dióxido de carbono	Carbono de metano	Carbono de monóxido de carbono	Carbono total	Carbono equivalente al del CO ²	CH ⁴	CO ²	CO	CH ⁴	CO ²	CO												
Bosque	45.40	0.19	1.97	47.56	48.86	0.187	0.001	0.008	0.196	0.202	0.45	113.54	4.71	0.38	97.58	4.02												
<u>Cerrado</u>	1.73	0.01	0.08	1.82	1.88	0.054	0.000	0.002	0.056	0.057	0.13	35.35	1.35	0.13	35.35	1.35												
Total	47.13	0.20	2.05	49.37	50.74	0.241	0.001	0.011	0.253	0.259																		

ESCENARIO DE ALTO METANO											Deforestación completa de la Amazonia Legal (GT)						Liberación líquida anual en 1988 (GT/año)						Liberación bruta por hectárea (toneladas de carbono/há talada) para deforestación completa de la Amazonia Legal			Liberación bruta por hectárea (toneladas/há talada) para deforestaciones en 1988		
	Carbono de dióxido de carbono	Carbono de metano	Carbono de monóxido de carbono	Carbono total	Carbono equivalente al de CO ²	Carbono de dióxido de carbono	Carbono de metano	Carbono de monóxido de carbono	Carbono total	Carbono equivalente al del CO ²	CH ⁴	CO ²	CO	CH ⁴	CO ²	CO												
Bosque	45.25	0.39	2.49	48.13	50.18	0.187	0.002	0.010	0.198	0.208	0.92	113.18	5.931	0.79	97.27	5.07												
<u>Cerrado</u>	1.72	0.02	0.10	1.84	1.93	0.055	0.000	0.003	0.058	0.059	0.26	35.25	1.70	0.26	35.25	1.70												
Total	46.97	0.41	2.59	49.97	52.11	0.242	0.002	0.013	0.256	0.267																		

(a) Liberación líquida a partir de biomasa y de suelos. Liberaciones brutas aumentarían el CO² en 5.34 toneladas/há, no obstante afectarían otros gases. Para los escenarios de alto y de bajo metano, respectivamente, la liberación bruta de carbono equivalente al de CO² sería 53.58 y 57.54 GT para la deforestación de la Amazonia Legal, o 0.283 y 0.341 GT/año para la tasa de liberación anual en 1988.

5g de CH²/kg de combustible (calculado por Kaufman *et al.*, 1990, de Greenberg *et al.*, 1984). Combustión en brasas produce 7g de CH²/kg de combustible (calculado por Kaufman *et al.*, 1990 de Greenberg *et al.*, 1984). El contenido de carbono del combustible es presumido de ser igual al de la biomasa cortada 50%. Los comejenes en el escenario de liberación baja de metano emiten como CH² 0.2% del carbono ingerido (Seiler *et al.*, 1984 citado por Fraser *et al.*, 1986). Las transformaciones en el escenario de liberación baja de metano están sumarizadas en la Figura 3.

En el escenario de alta liberación de metano, quemadas mixtas y de brasas liberan las mismas cantidades de dióxido de carbono como en el escenario de baja liberación de metano. El metano está producido en una tasa de 6 g/kg de combustible en quemadas mixtas y 11 g/kg de combustible en quemadas en brasas (calculado por Kaufman *et al.*, 1990; de Ward, 1986). Comejenes liberan 7.8 x 10² moléculas de CH²/molécula de CO² (Goreau & de Mello, 1987), o 7.9 g de carbono de CH²/kg de carbono de combustible, presumiendo que todo el carbono está liberado o como CO² o como CH². La liberación de metano de los comejenes en el escenario de

Tabla 7: EMISIONES PROVOCADORAS DEL EFECTO INVERNADERO ORIUNDAS DE LA DEFORESTACION EN LA AMAZONIA LEGAL BRASILEÑA (toneladas/há)(a)

		CH ₄	CO ₂	CO
ESCENARIO DE BAJO METANO				
Bosque	Quemada	0.44	115.45	11.77
	Total	0.60	454.16	11.77
Cerrado	Quemada	0.12	33.10	3.37
	Total	0.17	141.41	3.37
ESCENARIO DE BAJO METANO				
Bosque	Quemada	0.59	115.45	14.83
	Total	1.23	452.73	14.83
Cerrado	Quemada	0.17	33.10	4.25
	Total	0.35	140.99	4.25

(a) Calculado usando a biomasa media para bosques de la Amazonia Legal.

Tabla 8: EMISIONES DE GASES PROVOCADORES DEL EFECTO INVERNADERO DE DEFORESTACION COMPLETA DE LA AMAZONIA LEGAL BRASILEÑA (GT DE GAS)

	CH ₄	CO ₂	CO
ESCENARIO DE BAJO METANO			
Bosque	0.25	190.55	4.94
<u>Cerrado</u>	0.01	8.14	0.19
TOTAL	0.26	198.69	5.13
ESCENARIO DE ALTO METANO			
Bosque	0.51	189.95	6.22
<u>Cerrado</u>	0.15	59.16	1.78
TOTAL	0.66	249.11	8.01

alta liberación de metano es aquella medida en emisiones de comejeneras cerca a Manãos: un valor un poco menor que las emisiones de la especie de comejenes de zona templada que llevaron Zimmerman et al. (1982) a postular sobre emisiones macizas de termitas en escala global.

El efecto del metano es de aumentar el impacto de la liberación líquida de carbono de la deforestación amazónica en 14-18%, dependiendo si el escenario de baja o de alta liberación de metano es usado. El efecto es un poco menor si la liberación bruta de carbono es considerada, ya que la absorción de carbono por la vegetación que sustituye el bosque en el cálculo de liberación líquida afecta apenas el CO², siendo que el CH² entra en las reacciones fotosintéticas.

Monóxido de carbono (CO) es también producido por la quemada (Tablas 6-8). Este gas contribuye indirectamente al efecto invernadero por impedir los procesos naturales de limpieza en la atmósfera que remueve varios gases provocadores del efecto invernadero, inclusive el metano. El monóxido de carbono remueve los radicales hidroxilo (OH), que reaccionan con el CH² y con otros gases, inclusive diversos clorofluorocarbonos (CFCs) que provocan la degradación del ozono estratosférico, además de provocar el efecto invernadero.

Para combustión mixta de llamas y de brasas en el escenario de baja liberación, 120 g de CO resultan por kg de combustible (calculado por Kaufman *et al.*, 1990 de datos de Greenberg *et al.*, 1984), entretanto en el escenario de alta liberación el valor equivalente es 150 g (calculado por Kaufman *et al.*, 1990, de datos de Crutzen *et al.*, 1985). Presumiendo 50% de carbono en el combustible, estos valores son equivalentes a 0.096 y 0.12 kg de carbono de CO por kg de carbono de combustible.

Para combustión en brasas en el escenario de baja liberación, 220 g de CO es liberado por kg de combustible (Ward, 1986, citado por Kaufman *et al.*, 1990), mientras que en el escenario de alta liberación el valor equivalente es 280 g (calculado por Kaufman *et al.*, 1990, de datos de Grenberg *et al.*, 1984 y Ward, 1986).

Presumiendo el mismo contenido de carbono en el combustible como antes, estos valores son equivalentes a 0.176 y 0.224 kg de carbono de CO por kg de carbono de combustible, respectivamente. Deforestación completa de la Amazonia Legal brasileña liberaría 5-8 GT de CO (Tabla 8). El potencial para calentamiento global de una molécula de CO, relativa a una de CO₂, es 1.4 sin descuento, y se eleva para aproximadamente 7 a una tasa de descuento de 5%/año (Lashof & Ahuja, 1990). Así como en el caso de metano, los valores más conservadores, sin descuento, habían sido usados en calcular equivalentes de CO₂ (Tabla 6).

Un poco de carbono es liberado en otras formas, tales como hidrocarbonatos no-metanos (NMHCs) y carbono grafitico (fuligen). Los datos disponibles no son suficientemente confiables para calcular las emisiones de éstos por medio de la diferencia. La liberación de carbono a partir del bosque que está representado en la Tabla 4 corresponde a una liberación bruta a partir de biomasa de 105.6 toneladas/hectárea, mientras que la liberación bruta de carbono equivalente a esto en las formas de CO₂, CH₄ y CO totaliza 103.1 toneladas/hectárea (de la Tabla 6). La diferencia implícita de 2.5 toneladas/hectárea (2.3%) puede ser presumida a representar la liberación en otras formas, pero incertidumbres tales como el contenido de carbono en los combustibles utilizados en la derivación de relacionamientos entre los gases emitidos hacen que este número sea bastante incierto. La diferencia implícita es

mayor que la liberación sugerida por las razones de emisiones a partir de experimentos de laboratorio sobre la quema de combustibles de bosques de zona templada. Utilizando las razones de los particulados a metano y a los NMHCs adoptadas por Kaufman *et al.* (1990; basado en Ward & Hardy, 1984 y Ward, 1986), los escenarios de bajo y alto metano implican liberaciones de NMHCs de 0.29-0.39 toneladas/hectárea y 0.22-0.29 toneladas/hectárea para combustión en llamas y en brasas respectivamente, en un bosque de biomasa media (utilizando la eficiencia de combustión de 0.275 de Fearnside *et al.*, s/d-a; ver Figura 2). Las liberaciones comparables de particulados totales serían 1.74-1.97 toneladas/há y 0.73-0.98 toneladas/há; considerando 7% de los particulados totales como carbono grafitico (la fracción encontrada sobre fuegos amazónicos por Andreae *et al.*, 1988), las liberaciones de carbono grafitico serían 0.10-1.14 toneladas/hectárea y 0.05-0.07 toneladas/há.

La quemada también libera un poco de nitroso de oxígeno (N²O), que contribuye tanto al efecto invernadero cuanto a la degradación del ozono estratosférico. Un artefacto de muestreo ha hecho las mediciones de antes de 1989 no aprovechables. Todavía, las cantidades producidas por quema de biomasa son bastante menores de lo que fue pensado anteriormente (Crutzen, 1990), haciendo con que ignorar el impacto de la liberación de N²O a partir de las quemadas no llevará a grandes vicios en los resultados. Una fuente mayor de error puede ser ignorar la producción biológica de N²O en el suelo, que puede ser estimulada por la deforestación. El N²O también es liberado por suelos en cantidades mayores en las pasturas que en el bosque (observaciones durante la época seca cerca a Manãos hechas por Goreau *et al.*, 1987; ver también Goreau & de Mello, 1988). Quemadas en ambientes no tropicales han estimulado la liberación del N²O de suelos (Anderson *et al.*, 1988 citado por Kaufman *et al.*, 1990).

2.) Carbono del suelo

El carbono del suelo bajo pasto es considerado como la cantidad existente en un perfil equivalente a aquel que es compactado de un perfil de 20 cm bajo bosque. No sería justo comparar la cantidad de carbono en 1 m superior de suelo bajo pastura con

1 m superior bajo bosque, ya que el suelo bajo pastura sufre compactación cuando expuesto al sol, lluvia y al pisoteo del ganado. Cuando los poros del suelo son aplastados y la densidad del suelo aumenta, la cantidad de carbono en los 20 cm superiores puede aumentar como resultado por ser incluido un peso mayor de suelo en el perfil. El carbono en los 20 cm superiores del suelo disminuye de 0.91% a 0.56%, en términos de peso (ver Fearnside, 1985c), basado en carbono del suelo bajo bosque y bajo pastos de 10 y 11 años en Paragominas (Pará) muestreados por Falesi (1976: 31 y 42). Considerando la densidad del suelo como siendo 0.56 g/cm² bajo bosque en Paragominas (Hecht, 1981: 95), la camada compactada de los 20 cm superiores de suelo bajo bosque libera 3.92 toneladas/há de carbono.

La liberación de 3.92 toneladas/há de los 20 cm superiores del suelo representa 38% de carbono presente en esta camada antes de la conversión en pasturas. Esto es más alto que los 20% de carbono antes de la conversión en los 40 cm superiores del suelo que Detwiler (1986) concluyó que es liberado, en media, de la conversión para pasturas (basado en una revisión de literatura). La diferencia no es tan grande como puede presentar: siendo que la liberación del carbono es mayor más cerca de la superficie, la consideración del suelo hasta 40 cm de profundidad reduciría el porcentaje liberado. Un factor que actúa para compensar cualquier sobre-estimación que pueda ser causada por el uso de porcentaje más alto es el error sistemático en el sentido opuesto causado por haber considerado apenas los 20 cm superficiales del suelo. Si es considerado el suelo hasta un metro de profundidad (la práctica normal), entonces la liberación sería aumentada en 9.33 toneladas/há. El cálculo hasta un metro de profundidad considera que los 20 cm superiores del suelo contiene 42% de carbono en un perfil de un metro (basado en muestras cerca a Manaus: Fearnside, 1987b). Brown & Lugo (1982: 183) han usado una relación semejante para estimar las reservas de carbono hasta una profundidad de un metro a partir de muestras de los 20 cm superficiales, considerando que 45% de carbono en un perfil de un metro esté localizado en los 20 cm superficiales.

La conversión de todo el bosque y cerrado en la Amazonia Legal para pasto liberaría 1.9 GT de carbono de los 20 cm superficiales

Tabla 9: ESCENARIOS PARA LIBERACION DE CARBONO POR EL RITMO ACTUAL DE AMAZONIA LEGAL BRASILEÑA DANDO DIFERENTES PRESUNCIONES SOBRE LA BIOMASA MEDIA

Biomasa media del bosque (toneladas/há)	Liberación de carbono de biomasa(a) (toneladas/há)	Liberación de Carbono			
		De liberación de la tala del bosque (b)	% de 5 GT de liberación global por combustibles fósiles (b)	Total de la de la Amazonia Legal(c) (GT/año)	% de 5 GT de liberación global por combustibles fósiles
262.60(d)	120.1	0.252	5.0	0.318	6.4
252.00	115.2	0.242	4.8	0.308	6.2
225.00	102.9	0.217	4.3	0.238	5.7
222.50	101.7	0.214	4.3	0.218	5.6
200.00	91.5	0.194	3.9	0.260	5.2
174.00	79.6	0.169	3.4	0.236	4.7
155.10(c)	70.9	0.152	3.0	0.218	4.4

(NOTAS: Tabla 9)

- (a) Se presupone que la vegetación que sustituye al bosque es pasto (10.67 toneladas/há de peso seco de biomasa; ver Fearnside, 1987b: 79); contenido de carbono en la vegetación = 0.50 (según Brown & Lugo, 1982, 1984).
- (b) Incluye 3.92 toneladas/há de liberación de carbono de los 20 cm superiores del suelo.
- (c) Incluye liberación del cerrado (biomasa media = 70.7 toneladas/há) y para suelos, presumido igual a la liberación en el bosque. La liberación de carbono en el cerrado, en el ritmo actual de deforestación, es 0.059 GT/año (exclusivo de la liberación a partir del suelo).
- (d) Valor derivado de estimaciones hechas por la FAO de volumen del bosque y de las mediciones directas disponibles (Fearnside, 1987b).
- (e) Valor derivado de las estimaciones hechas por la FAO del volumen de bosque para bosques productivos cerrados latifolios en los trópicos Americanos (Brown & Lugo, 1984).

del suelo: aproximadamente 4% de la liberación total de conversión de la región en pasturas. Si fuese considerado el suelo hasta la profundidad de un metro, y fuese hecha la **presunción de que la proporción de carbono liberado permanece constante con el aumento de la profundidad**, la liberación a partir del suelo sería 4.5 GT, u 8% del total. Considerando el suelo hasta un metro de profundidad aumentaría 0.014 GT/año a los 0.010 GT/año liberado de los 20 cm superficiales, dado la tasa y distribución geográfica de deforestación en 1988.

La liberación de carbono del suelo sería esperada cuando el bosque está convertido en pasto, porque la temperatura del suelo aumenta cuando la cobertura forestal está removida, así dislocando el balanceo entre la formación y la degradación de carbono orgánico para un nivel de equilibrio más bajo (Cunningham, 1963; Nye & Greenland, 1960). Varios estudios han encontrado reservas de carbono menores bajo pasturas que bajo bosques (revisados en Fearnside, 1980). Por la misma razón las gramíneas tropicales naturales también tienen pequeñas reservas de carbono del suelo por hectárea que de bosque (Post *et al.*, 1982). Lugo *et al.* (1986), sin embargo, ha encontrado aumentos en el almacenamiento de carbono en suelos bajo pastos en Puerto Rico, especialmente en locales más secos, y sugiere que las pasturas tropicales pueden ser sumidero de carbono. El presente trabajo trata los suelos como una fuente de carbono cuando bosques son convertidos en pastos. Todo el carbono liberado de los suelos se presume que sea en forma de CO².

D.) Contribución global de deforestación tropical

Emisiones globales de carbono de deforestación son inciertas, en parte por causa de la incertidumbre asociada con la gran contribución al total oriundo del Brasil. Una estimación coloca el total anual global en 1.67 GT, de los cuales 0.80 GT son considerados como venidos del Brasil (Goldemberg, 1989). La contribución brasileña de más que el doble de la presente estimación de 0.27 GT se debe, probablemente, al uso de estimaciones para quemadas de infrarrojo de AVHRR de 1987 (Setzer *et al.*, 1988) como siendo la tasa de deforestación. El total global implica que 0.87 GT de carbono son liberados anualmente de deforestaciones en el

brasileño, y que el total global usando la estimación actual para Brasil sería 1.14 GT. La contribución brasileña actual para el total global oriundo de deforestación sería 24%. Presumiendo una liberación global total de 5 GT/año de la quema de combustibles fósiles, la deforestación en la Amazonia brasileña contribuye con 4.4% del total general de combustibles fósiles y deforestación. Usando la liberación a partir de combustibles fósiles como el patrón para comparación, como es la práctica normal, la tasa anual de deforestación en la Amazonia brasileña representa 5.4% (Tabla 9). Usando las estimaciones de emisiones para gases individuales produce un resultado semejante, ya que la pérdida de una parte de carbono en formas no provocadoras de efecto invernadero está compensado por el mayor impacto del carbono en forma de metano. Usando la liberación de carbono en equivalentes de CO² de 0.262-0.282 GT (para los escenarios de baja y de alta liberación de metano en la Tabla 6), la contribución representa 5.2-5.7% del total global de combustibles fósiles.

IV. Discusión y conclusión

Deforestación en la Amazonia brasileña ya hace una contribución significativa al efecto invernadero, y la continuación de las tendencias de deforestación puede llevar a una contribución en potencial aún mayor para este problema mundial. Incertidumbres respecto a la tasa de deforestación, la biomasa y otros factores no modifican la conclusión básica sobre la significancia de deforestación. Esto puede ser visualizado examinando una serie de ejemplos hipotéticos (Tabla 9): si la biomasa media de 210.7 toneladas/há fuese incorrecta, los valores para biomasa retirados de otras fuentes resultarían en contribuciones que, expresadas en términos de porcentajes de una liberación global total de 5 GT de carbono de combustibles fósiles, varían desde 2.8% hasta 4.6% si apenas el bosque es considerado, o 3.3% a 5.1% si se considerase a la Amazonia Legal entera. La conclusión de que el efecto es significativo es, por lo tanto, bastante robusta.

El Brasil emite anualmente 100 x 10² toneladas de carbono a través de la quema de combustibles fósiles (Goldemberg, 1989). Esta contribución al efecto invernadero está contrabalanceada por los beneficios de la industria y transportes del país, movidos

a petróleo y carbón mineral, todo el uso doméstico de gas natural, etc. En contraste, cada año el corte de bosque y cerrado en la Amazonia brasileña contribuye para la atmósfera 270×10^2 toneladas de carbono, o casi tres veces más que el uso brasileño de combustibles fósiles (Tabla 4). Los beneficios de la deforestación, sin embargo, son mínimos, ya que deja por atrás apenas bosques destruidos y pasturas degradadas.

El contraste entre los costos y beneficios de la quemada de biomasa y el uso de combustibles fósiles también es enorme en base de impacto per cápita. La población brasileña de 140×10^2 personas emite 714 kg de carbono/persona/año a partir de combustibles fósiles. Un único hacendado que tale 2,000 há de bosque (con una biomasa media de 210.7 toneladas/há, ver Tabla 3) emite la misma cantidad de carbono que una ciudad de 280,000 personas quemando combustibles fósiles (cálculo siguiendo el de Brown, 1988). Mismo un pequeño agricultor que tale una hectárea por año está liberando 100 toneladas de carbono, el equivalente de 140 personas en las ciudades del Brasil. La discrepancia entre los costos y beneficios de deforestación comparado al uso de combustibles fósiles hace con que frenar la pérdida del bosque esté en un lugar obvio para el Brasil comenzar a reducir su contribución al calentamiento global.

Acción inmediata será necesaria para reducir emisiones de gases provocadores del efecto invernadero para minimizar el calentamiento global que sería causado por las tendencias actuales. Mientras que esfuerzos de investigación y monitoreamiento precisan ser fortificados y continuados, bastante evidencia científica ya existe para justificar medidas fuertes de los gobiernos en el mundo entero. La reducción de la quema de combustibles fósiles y la disminución de la tasa de deforestación tropical son áreas que ya pueden ser identificadas como alvos para medidas de este tipo. Los gobiernos no deben esperar la disponibilidad de más resultados de investigación, ni deben esperar la presencia de cambios observables de temperatura, antes de tomar acciones. Si no, la oportunidad sería perdida para evitar impactos más dañinos del efecto invernadero.

V. Agradecimientos

Los estudios sobre quemadas en Altamira fueron financiados por la National Science Foundation: GS-422869 (1974-1976) y ATM-86-0921 (1986-1988), y en Manaus por World Wildlife Fund-US: US-331 (1983-1985). Una versión en inglés será publicada por MIT Press (Fearnside, 1991). Por los comentarios sobre el manuscrito agradezco a P.M.L.A. Graca, J.M. Robinson y S.V. Wilson. Agradezco a Gladys Vela por la traducción.

VI. Literatura citada

- Anderson, I.C., J.S. Levine, M.A. Poth & P.J. Riggan. 1988. Enhanced emission of biogenic nitric oxide and nitrous oxide from semi-arid soils following surface biomass burning. Journal of Geophysical Research 93 (D4): 3893-3898.
- Andreae, M.O., E.V. Browell, M. Garstang, G.L. Gregory, R.C. Harris, G.F. Hill, D.J. Jacob, M.C. Pereira, G.W. Sachse, A.W. Setzer, P.L. Silva Dias, R.W. Talbot, A.L. Torres, & S.C. Wofsy. 1988. Biomass-burning emissions and associated haze layers over Amazonia. Journal of Geophysical Research 93 (D2): 1509-1527.
- Bandeira, A.G. & M.F.P. Torres. 1985. Abundancia e distribuição de invertebrados do solo em ecossistemas da Amazonia Oriental. O papel ecológico dos cupins. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Zoologia 2(1): 13-38.
- Blake, D.R. & F.S. Rowland. 1988. Continuing worldwide increase in tropospheric methane, 1978 to 1987. Science 239: 1129-1131.
- Bogdonoff, P., R.P. Detwiler & C.A.S. Hall. 1985. Land use change and carbon exchange in the tropics: III. Structure, basic equations, and sensitivity analysis of the model. Environmental Management 9 (4): 345-354.

- Braga, P.I.S. 1979. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. Acta Amazonica 9(4) suplemento: 53-80.
- Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). 1988. Região Norte. (Mosaico de imagens de 1986 & 1987 LANDSAT-TM). INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil.
- Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). 1989a. Avaliação da Cobertura Florestal na Amazonia Legal Utilizando Sensoriamento Remoto Orbital. INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. 54 p.
- Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). 1989b. Avaliação da Cobertura Florestal na Amazonia Legal Utilizando Sensoriamento Remoto Orbital, 2ª edição. INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 45 p.
- Brasil, Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). 1983a. Desenvolvimento Florestal no Brasil. PNUD/FAO/BRA-82-008. Folha Informativa No. 5. IBDF, Brasília, Brasil.
- Brasil, Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). 1989. Alteração da Cobertura Vegetal do Estado de Rondonia: Relatório Técnico. IBDF, Brasília. 77 p.
- Brasil, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Projeto RADAMBRASIL. 1973-1983. Levantamento de Recursos Naturais, Vols. 1-23. DNPM, Rio de Janeiro, Brasil.
- Brasil, Secretaria de Planejamento (SEPLAN), Programa Grande Carajás (PGC), Companhia de Desenvolvimento de Barcarena (CODEBAR) & Ministério do Interior, Superintendência do Desenvolvimento da Amazonia (SUDAM). 1986. Problemática do Carvão Vegetal na Área do Programa Grande Carajás. CODEBAR/SUDAM, Belém, Brasil.

- Brown, I.F. 1988. Bacias hidrográficas. Presentación a la 2a Semana del Ambiente, 5-9 diciembre 1988, Piracicaba, São Paulo, Brasil.
- Brown, I.F. 1990. Uncertainties in tropical forest biomass: An example from Rondonia. Trabajo presentado al Chapman Conference on Global Biomass Burning: Stmospheric, Climatic and Biospheric Implications, 19-23 marzo 1990, Williamsburg, Virginia, EE.UU.
- Brown, S., A.J.R. Gillespie & A.E. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. Forest Science 35(4): 881-902.
- Brown, S. & A.E. Lugo. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. Biotropica 14(3): 161-187.
- Brown, S. & A.E. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. Science 223: 1290-1293.
- Collins, N.M. & T.G. wood. 1984. Termites and atmospheric gas production. Science 224:84-85.
- Crutzen, P.J. 1990. Biomass burning: A large factor in the photochemistry and ecology of the tropics. Trabajo presentado al Chapman Conference on Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications, 19-23 marzo 1990, Williamsburg, Virginia, EE.UU.
- Crutzen, P.J., A.C. Delany, J. Greenberg, P. Haagenson, L. Heidt, R. Lueb, W. Pollock, W. Seiler, A. Wartburg & P. Zimmerman. 1985. Tropospheric chemical composition measurements in Brazil during the dry season. Journal of Atmospheric Chemistry 2: 233-256.
- Detwiler, R.P. 1986. Land use change and the global carbon cycle: The role of tropical soils. Biogeochemistry 2: 67-93.
- Detwiler, R.P. & C.A.S. Hall. 1988. Tropical forests and the global carbon cycle. Science 239: 42-47.

- Falesi, I.C. 1976. Ecosistema de Pastagem Cultivada na Amazonia Brasileira. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Umido (CPATU), Belém, Brasil, 193 p.
- Fearnside, P.M. 1980. The effects of cattle pasture on soil fertility in the Brazilian Amazon: Consequences for beef production sustainability. Tropical Ecology 21(1): 125-137.
- Fearnside, P.M. 1982. Deforestation in the Brazilian Amazon: How fast is it occurring? Interiencia 7(2): 82-88.
- Fearnside, P.M. 1985a. Agriculture in Amazonia. p. 393-418 In: G.T. Prance & T.E. Lovejoy (compiladores) Key Environments: Amazonia. Pergamon Press, Oxford, Reino Unido. 442 p.
- Fearnside, P.M. 1985b. Environment change and deforestation in the Brazilian Amazon. p. 70-89 In: J. Hemming (compilador) Change in the Amazon Basin: Man's Impact on Forests and Rivers. Manchester University Press, Manchester, Reino Unido. 222 p.
- Fearnside, P.M. 1986a. Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest. Columbia University Press, New York, EE.UU. 293 p.
- Fearnside, P.M. 1986b. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem: Reply to Lugo & Brown. Interiencia 11(2): 58-64.
- Fearnside, P.M. 1987a. Causes of deforestation in the Brazilian Amazon. p. 37-53 In: R.F. Dickinson (ed.) The Geophisiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions. John Wiley & Sons, New York, EE.UU. 526 p.
- Fearnside, P.M. 1987b. Summary of progress in quantifying the potential contribution of Amazonian Deforestation to the global carbon problem. p. 75-82 In: D. Athié, T.E. Lovejoy & P. de M. Oyens (eds.) Proceedings of the Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Forests: Problems for Research. Universidade de São Paulo, Centro de Energia

Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo, Brasil, 85 p.

- Fearnside, P.M. 1988. An ecological analysis of predominant land uses in the Brazilian Amazon. The Environmentalist 8(4): 281-300.
- Fearnside, P.M. 1989a. Extractive reserves in Brazilian Amazonia: Opportunity to maintain tropical rain forest under sustainable use. BioScience 39(6): 387-393.
- Fearnside, P.M. 1989b. Forest management in Amazonia: The need for new criteria in evaluating development options. Forest Ecology and Management 27(1): 61-79.
- Fearnside, P.M. 1989c. A prescription for slowing deforestation in Amazonia. Environment 31(4): 16-20; 39-40.
- Fearnside, P.M. 1989d. Climate environment and international security: The case of deforestation in the Brazilian Amazon. p. 685-694 In: A. Berger, S. Schneider & J.Cl. Duplessy (compiladores) Climate and Geo-Sciences: A Challenge for Science and Society in the 21st Century. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda. 724 p.
- Fearnside, P.M. 1989e. A Ocupação Humana de Rondonia: Impactos, Limites e Planejamento. Programa POLONOROESTE Relatório de Pesquisa No. 5. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília, Brasil. 76 p.
- Fearnside, P.M. 1990a. Practical targets for sustainable development in Amazonia. p. 167-174 In: N. Polunin & J. Burnett (compiladores) Maintenance of the Biosphere: Proceedings of the Third International Conference on the Environmental Future. Edinburgh University Press, Edinburgh, Reino Unido. 224 p.
- Fearnside, P.M. 1990b. The rate and extent of deforestation on Brazilian Amazonia. Environmental Conservation 17(3) (en la prensa).

- Fearnside, P.M. 1990c. Deforestation in Brazilian Amazonia. p. 211-238 In: G.M. Woodwell (compilador) The Earth in Transition: Patterns and Processes of Biotic Impoverishment. Cambridge University Press, New York, EE.UU. 530 p.
- Fearnside, P.M. 1990d. Fire in the tropical rain forest of the Amazon Basin. p. 106-116 In: J.G. Goldammer (compilador) Fire in the Tropical and Subtropical Biota. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemania. (en la prensa).
- Fearnside, P.M. 1991. Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. In: J.S. Levine (compilador) Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications. MIT Press, Boston, Massachusetts, EE.UU. (en la prensa).
- Fearnside, P.M., M.M. Keller, N. Leal Filho & P.M. Fernandes. s/d-a. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon (en preparación).
- Fearnside, P.M., N. Leal Filho, P.M.L.A. Graca, G.L. Ferreira, R.A. Custodio & F.J.A. Rodrigues. s/d-b. Pasture biomass and productivity in Brazilian Amazonia (en preparación).
- Fearnside, P.M., N. Leal Filho, F.J.A. Rodrigues, P.M.L.A. Graca & J.M. Robinson. s/d-c. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: Measurements of biomass, combustion efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará (en preparación).
- Fraser, P.J., R.A. Rasmussen, J.W. Creffield, J.R. French & M.A.K. Khalil. 1986. Termites and global methane-another assessment. Journal of Atmospheric Chemistry 4: 295-310.
- Goldemberg, J. 1989. A Amazonia e seu futuro. A Folha de São Paulo (São Paulo) 29 enero 1989, p. A-3.
- Goreau, T.J. & W.Z. de Mello. 1987. Effects of deforestation on sources and sinks of atmospheric carbon dioxide, nitrous oxide, and methane from central Amazonian soils and biota during the dry season: A preliminary study. p. 51-66 In: D.

Athié, T.E. Lovejoy & P. de M. Oyens (compiladores) Proceedings of the Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Forests: Problems for Research. Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo, Brasil. 85 p.

Goreau, T.J. & W.Z. de Mello. 1988 Tropical deforestation: Some effects on atmospheric chemistry. Ambio 17(4): 275-281.

Goudriaan, J. & P. Ketner. 1984. A simulation study for the global carbon cycle, including man's impact on the biosphere. Climatic Change 6: 167-192.

Greenberg, J.P., P.R. Zimmerman, L. Heidt & W. Pollock. 1984. Hydrocarbon and carbon monoxide emissions from biomass burning in Brazil. Journal of Geophysical Research 89(D1): 1350-1354.

Hecht, S.B. 1981. Deforestation in the Amazon Basin: Magnitude, dynamics, and soil resource effects. Studies in Third World Societies 13: 61-108.

Jordan, C.F. & C.E. Russell. 1983. Jari: Productividad de las plantaciones y pérdida de nutrientes debido al corte y la quema. Interciencia 8(5): 294-297.

Kaufman, Y.J., A. Setzer, C. Justice, C.J. Tucker & I. Fung. 1990. Remote sensing of biomass burning in the tropics. In: J.G. Goldammer (compilador) Fire in the tropical and Subtropical Biota. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemania (en la prensa).

Klinge, H. & W.A. Rodrigues. 1974. Phytomass estimation in a central Amazonian rain forest. p. 339-350 In: H.E. Young (compilador) IUFRO Biomass Studies. University Press, Orono, Maine, EE.UU.

Klinge, H., W.A. Rodrigues, E. Brunig & E.J. Fitkau. 1975. Biomass and structure in a Central Amazonian rain forest. p. 115-122 In: F.B. Golley & E. Medina (compiladores)

Tropical Ecological Systems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research. Springer-Verlag, New York, EE.UU. 398 p.

- Lanly, J.P. 1982. Tropical Forest Resources. FAO Forestry Paper 30, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia. 106 p.
- Lashof, D.A. & D.R. Ahuja. 1990. Relative global warming potentials of greenhouse gas emissions. Nature 344: 529-531.
- Lugo, A.E., M.M. Sanchez & S. Brown. 1986. Land use and organic carbon content of some subtropical soils. Plant and Soil 96: 185-196.
- Malingreau, J.P. & C.J. Tucker. 1988. Large-scale deforestation in the southeastern Amazon basin of Brazil. Ambio 17(1): 49-55.
- Martinelli, L.A., I.F. Brown, R.L. Victoria, M.Z. Moreira, C.A.C. Ferreira & W.W. Thomas. s/d. Estimativa de biomassa e produção de CO² via desmatamento em floresta tropical úmida, Usina Hidroelétrica de Samuel, Rondonia (manuscrito no publicado).
- Pereira, M.C. 1987. Deteccção, Monitoramento e Análise de Alguns Efeitos Ambientais de Queimadas na Amazonia Através da Utilização de Imagens dos Satélites NOAA e LANDSAT, e Dados de Aeronave. Instituto de Pesquisas Espaciais 9INPE) Pub. No. INPE-4503-TDL/326 (tesis de maestrado en sensoriamiento remoto). INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. 268 p.
- Rasmussen, R.A. & M.A.K. Khalil. 1983. Global production of methane by termites. Nature 301: 700-702.
- Robinson, J.M. 1989. On uncertainty in the computation of global emissions from biomass burning. Climatic Change 14(3): 243-261.

- Seller, W. & P.J. Crutzen. 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. Climatic Change 2: 207-247.
- Setzer, A.W., M.C. Pereira, A.C. Pereira Júnior & S.A.O. Almeida. 1988. Relatório de Atividades do Projeto IBDF-INPE "SEQE" - Ano 1987. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), Pub. No. INPE-4534-RPE/565. INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. 48 p.
- Stark, N. & M. Spratt. 1977. Biomass and nutrient storage in rainforest oxisols near San Carlos de Rio Negro. Tropical Ecology 18(1): 1-9.
- Uhl, C. & J. Saldarriaga. s/d. The disappearance of wood mass following slash and burn agriculture in the Venezuelan Amazon (manuscrito no publicado).
- Ward, D.E. 1986. Field scale measurements of emission from open fires. Trabajo técnico apresentado en la Defense Nuclear Agency Global Effects Review, Defense Nuclear Agency, Washington, D.C., EE.UU.
- Ward, D.E. & C.C. Hardy. 1984. Advances in the characterization and control of emissions from prescribed fires. Trabajo apresentado al 77th reunión anual de Air Pollution Control Association, San Francisco, California.
- Zimmerman, P.R., J.P. Greenberg & J.P.E.C. Darlington. 1984. Termites and atmospheric gas production. Science 224: 86.
- Zimmerman, P.R., J.P. Greenberg, S.O. Wandiga & P.J. Crutzen. 1982. Termites: A potentially large source of atmospheric methane, carbon dioxide, and molecular hydrogen. Science 218: 563-565.